



Sintesis Dan Karakterisasi Membran Hibrid PMMA/TEOT: Pengaruh Konsentrasi Polimer

Jhon Armedi Pinem dan Rini Angela

Laboratorium Pemisahan dan Pemurnian Jurusan Teknik Kimia

Fakultas Teknik Universitas Riau

Kampus Binawidya Jl. H.R. Subrantas Km 12.5 Simpang Baru Pekanbaru 28293

Email: jhonarmedipin@yahoo.com

Abstrak

Hybrid membrane of Polymethylmethacrylate (PMMA)/Tetraethyl Orthotitanate (TEOT) has successfully been made by using phase inversion technique which was gained by addition an amount of TEOT. This TEOT is used as inorganic precursor in solution of PMMA. In this research, hybrid membrane PMMA/TEOT was being synthesized in various concentration of PMMA. Membrane produced by this technique were characterized with FTIR, SEM, and TGA methods. FTIR analysis result showed that the membrane has similar functional group and it has strong bond at increased PMMA's concentration. SEM analysis result showed that the membrane is categorized as assymetric membrane which has changing in morfology, the higher PPMA's concentration was, the best membrane was gained. TGA analysis showed that the membrane has more stable temperature in higher concentration of PMMA.

Keyword: Hybrid membrane, PMMA, TEOT, Fase inverse

PENDAHULUAN

Proses pemisahan membran merupakan salah satu teknologi terkenal yang mengalami pertumbuhan yang cepat selama dua dekade terakhir. Membran banyak digunakan pada berbagai aplikasi. Alasan mempertahankan aplikasi teknologi membran pada industri kimia dibandingkan dengan teknologi lainnya yaitu membran memiliki ketahanan kimia yang baik yang bisa bekerja pada kondisi proses yang sulit bahkan pada kondisi pH yang ekstrim, larutan yang peka terhadap suhu atau pada proses-proses yang menggunakan pelarut organik [Nunes *et al.*, 2001]. Membran juga menawarkan harga yang murah dan ekonomis karena dapat dipakai berulang-ulang, konsumsi energi yang sedikit, sistem pengoperasian yang mudah. Selain itu yang paling penting, penggunaan membran tidak berdampak negatif pada lingkungan karena proses pemisahan dengan membran bersifat fisik sehingga tidak diperlukan senyawa kimia tambahan. Teknologi membran banyak digunakan untuk proses desalinasi air, proses pengolahan makanan, aplikasi dibidang medis, pemisahan gas di industri kimia, bahkan sekarang ini membran juga diaplikasikan pada bidang energi alternatif yang merupakan suatu bagian dasar pada sel bahan bakar. Pada pengertian ini, teknologi membran memiliki kontribusi untuk bidang kimia yang bersifat aman lingkungan. Di lain hal pengoptimalan proses dan penyediaan membran untuk aplikasi dibidang kimia merupakan tantangan yang besar bagi ilmu membran.

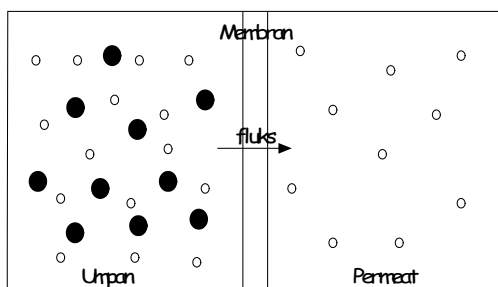
Pada umumnya membran dapat dibuat dari bahan polimer organik dan senyawa anorganik. Namun, sebagian besar bahan yang sering

digunakan untuk membuat membran adalah bahan polimer organik karena proses pembuatannya yang relatif sederhana [Mulder, 1996]. Membran yang berasal dari penggabungan bahan organik dan anorganik dikenal dengan sebutan membran hibrid. Membran hibrid yang dihasilkan menunjukkan sifat mekanik yang meningkat, memiliki interaksi kimia yang kuat antar komponen, stabilitas kimia yang unggul, performa yang lebih baik. Membran hibrid banyak diaplikasikan pada proses pemisahan gas. Schrotter *et al.* (1999) menggunakan film hibrid polyimide-silica untuk pemisahan gas H_2/CO_2 yang menunjukkan permeabilitas dan selektivitas yang tinggi bila dibandingkan dengan polyimide murni. Begitu pula dengan Okui *et al.* (1998) yang membuat membran hibrid phenyltrimethoxysilane dan tetraethylorthosilicate untuk pemisahan gas CO_2/N_2 , dimana phenyl tidak terdekomposisi pada suhu yang tinggi. Ho *et al.* (1996) memisahkan aromatik dan alifatik menggunakan polyurethane/polyadipate dan polyimide/polyadipate copolymer membran, yang menunjukkan stabilitas termal dan ketahanan terhadap pelarut yang baik. Sejumlah membran hibrid juga berpotensi digunakan pada teknologi sel bahan bakar. Saat ini modul membran yang ada di pasaran Indonesia umumnya produk dari luar negeri. Oleh karena itu perlu upaya untuk membuat modul membran tersebut di dalam negeri. Untuk itu perlu dilakukan penelitian-penelitian yang menunjang ke arah tersebut. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi untuk membuat membran di dalam negeri.

2. Landasan Teori

2.1 Pengertian Membran

Secara umum, membran didefinisikan sebagai suatu lapisan tipis selektif dan semipermeabel yang berada diantara dua fasa, yaitu fasa umpan dan fasa permeat (Gambar 1). Fasa umpan atau konsentrat mengandung komponen yang tertahan sedangkan fasa permeat mengandung komponen yang lolos melalui membran. Pemisahan dicapai karena membran mempunyai kemampuan untuk melewatkan suatu komponen, yang ukurannya lebih kecil dari pori membran pada fasa umpan lebih baik daripada komponen lain yang ukurannya lebih besar dari pori membran. Membran bersifat semipermeabel, berarti membran dapat menahan spesi-spesi tertentu yang lebih besar dari ukuran pori membran, dan melewatkan spesi-spesi lain dengan ukuran yang lebih kecil. Sifat selektif dari membran ini dapat digunakan dalam proses pemisahan. Membran merupakan suatu pemisah selektif dan memiliki kemampuan menghambat laju perpindahan massa yang bersifat spesifik untuk tiap-tiap komponen kimia.



Gambar. 2.1 Proses Pemisahan pada Membran (Mulder, 1996)

2.2 Klasifikasi Membran

Membran dapat diklasifikasikan berdasarkan:

1. Material membran
 - a. Membran alam
 - b. Membran sintetik
2. Morfologi membran
 - a. Membran Berpori

Membran ini biasa digunakan untuk mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi. Untuk mikrofiltrasi, ukuran pori berkisar antara 0,1-10 μm . Sedangkan untuk ultrafiltrasi berkisar antara 2-100 nm. Prinsip pemisahan membran ini didasarkan atas perbedaan ukuran partikel.

 - Membran simetris merupakan membran yang memiliki struktur dan ukuran pori yang seragam dengan ketebalan 10-200 μm . Membran ini terdiri atas membran berpori dan membran rapat.
 - Membran asimetris merupakan membran yang memiliki struktur dan ukuran pori tidak seragam.

b. Membran Tak Berpori

Membran ini berpotensi untuk memisahkan molekul dengan ukuran yang hampir sama satu sama lain. Pemisahan terjadi melalui perbedaan kelarutan dan perbedaan difusifitas. Membran ini digunakan untuk pemisahan gas.

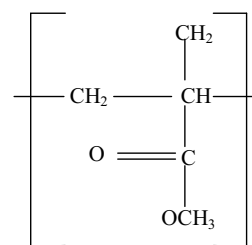
c. Membran Komposit

Bagian atas membran ini memiliki pori berukuran kecil dan rapat, dengan ketebalan lapisan 0,1-1 μm . Sedangkan bagian bawah membran (lapisan penyangga/pendukung) memiliki pori berukuran besar, dengan ketebalan 1-150 μm . Membran ini mengkombinasikan selektifitas yang tinggi dari membran rapat dan laju permeasi yang tinggi dari membran yang sangat tipis. Ketahanan terhadap transfer massa sebagian besar ditentukan oleh lapisan atas yang tipis.

2.3 Karakteristik PMMA dan TEOT

Polymethylmethacrylate (PMMA)

PMMA jika dibuat menjadi membran mempunyai sifat sebagai berikut, seperti: plastik transparan (bening), kekuatan tumbukan yang baik, ketahanan suhu cukup baik. Membran PMMA memiliki keteraturan ruang (*stereoregularity*) yang jelek sehingga membran PMMA bersifat amorf. PMMA tahan terhadap reagen inorganik encer termasuk cairan alkali dan asam. PMMA akan berubah secara lengkap menjadi monomernya bila dipanaskan dengan suhu yang tinggi. Sifat PMMA yang menonjol adalah sifat optiknya yang transparan. Sifat ini dikombinasikan dengan sifatnya yang tahan terhadap lingkungan luar sangat menguntungkan dalam penggunaan yang mementingkan sifat transmisi cahaya. Sifat-sifat termal dan mekanik PMMA juga bagus. Temperatur distorsinya diatas 90°C [Fred, 1962].

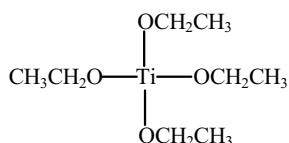


Gambar 2.2 Struktur Molekul PMMA [Wikipedia, 2008]

Tetraethyl Orthotitanate (TEOT)

Tetraethyl Orthotitanate atau sering disingkat dengan TEOT merupakan senyawa kimia dengan rumus molekul $\text{Ti}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$. Senyawa ini memiliki empat grup etil yang terikat pada ion TiO_4^{4-} . TEOT berwujud cair pada suhu kamar dan

akan terhidrolisis menjadi butiran jika terkena air. TEOT mempunyai stabilitas suhu yang baik dan anti korosi sehingga baik digunakan untuk proses desalinasi. Titanium murni akan meleleh pada suhu 1668°C [George *et al.*, 1986].



Gambar 2.3 Struktur Molekul TEOT
[Wikipedia, 2008]

2.4 Teknik Pembuatan Membran

Beberapa teknik pembuatan membran yang paling penting diantaranya, [Mulder, 1996]:

1. *Sintering*

Bahan membran yang berbentuk ditekan dan dipanaskan pada suhu yang tinggi sehingga antarmuka partikel yang berdekatan akan menghilang dan timbul pori-pori. Metode ini digunakan untuk menghasilkan membran organik dan anorganik yang berpori dengan ukuran pori antara $0,1-10\ \mu\text{m}$.

2. *Stretching*

Pada metode ini film yang terbuat dari polimer semikristal ditarik searah dengan arah ekstrusi sehingga bagian kristal dari polimer terletak sejajar dengan arah ekstrusi. Porositas membran yang dihasilkan dengan metode ini lebih banyak dibanding dengan metode *sintering*. Pori yang terbentuk berukuran antara $0,1-3\ \mu\text{m}$.

3. *Track-etching*

Metode ini juga dikenal sebagai metode litografi. Film dari polimer ditembak dengan partikel radiasi berenergi tinggi pada arah tegak lurus terhadap film. Partikel radiasi akan membentuk lintasan pada matriks film. Pada saat film dimasukkan ke dalam bak asam atau basa, maka polimer akan terbentuk sepanjang lintasan. Pori yang dihasilkan berukuran seragam (simetri) dengan ukuran pori yang berkisar antara $0,02-10\ \mu\text{m}$.

4. *Template leaching*

Teknik ini dilakukan dengan melepas salah satu komponen film sehingga dihasilkan membran berpori. Sebagai contoh, leburan homogen dari tiga sistem komponen ($\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$) didinginkan dan sistem akan berpisah menjadi dua fasa. Fasa pertama adalah fasa yang tidak larut dan mengandung SiO_2 , sedangkan fasa kedua adalah fasa yang larut. Fasa yang kedua ini terlepas dengan penambahan asam atau basa. Ukuran pori yang dihasilkan bervariasi dengan ukuran minimum sekitar $5\ \text{nm}$.

5. *Coating*

Polimer membran yang rapat akan menghasilkan nilai fluks yang rendah. Untuk

meningkatkan laju fluks, maka ketebalan membran harus diperkecil dengan membentuk membran komposit. Membran komposit terdiri dari atas dua material. Material yang sangat selektif diletakkan di bagian atas membran. Bagian ini menentukan selektivitas membran. Sedangkan pada lapisan bawahnya dilapisi dengan material berpori besar. *Coating* dapat dilakukan dengan cara *dip coating*, polimerisasi plasma, polimerisasi antarmuka dan polimerisasi *in situ*.

6. Inversi Fasa

Inversi fasa merupakan metode yang paling sering digunakan untuk membuat membran. Inversi fasa adalah proses transformasi polimer dari fasa cair ke fasa padat. Proses pemadatan (solidifikasi) ini diawali dengan perubahan satu fasa cair menjadi dua fasa cair yang saling campur. Peristiwa ini disebut pemisahan cair-cair (*liquid-liquid demixing*). Salah satu fasa cair tersebut adalah fasa yang kaya polimer. Fasa ini akan memadat selama proses inversi fasa sehingga membentuk matriks padat (membran).

Teknik inversi fasa pertama kali diperkenalkan oleh Sidney Loeb dan Srinivasa Sourirajan. Teknik ini kemudian disebut teknik Loeb-Sourirajan. Teknik ini menghasilkan membran asimetrik dengan ukuran pori yang bervariasi. Pembentukan membran pada teknik ini melalui beberapa tahap. Pertama, pembuatan larutan cetak hingga homogen, penguapan pelarut secara parsial pada lapisan atas dan terakhir pengendapan polimer dalam bak koagulan yang berisi non-pelarut. Polimer yang digunakan harus memiliki kelarutan yang rendah dalam non-pelarut. Kelarutan polimer dalam non-pelarut berpengaruh terhadap pori yang terbentuk. Semakin tinggi kelarutan polimer dalam non-pelarut, semakin besar polimer yang terbentuk. Pori yang terbentuk juga dipengaruhi oleh konsentrasi polimer dalam larutan cetak. Semakin tinggi konsentrasi polimer, pori yang terbentuk semakin rapat [Mulder, 1996]. Metode inversi fasa ini dapat dilakukan melalui beberapa teknik, diantaranya:

a. Pengendapan dengan Penguapan Pelarut

Polimer dilarutkan dalam pelarut dan kemudian larutan polimer dicetak membentuk film di atas plat kaca. Setelah itu larutan dibiarkan agar pelarutnya menguap ke atmosfer. Larutan polimer akan semakin pekat selama penguapan dan akhirnya memadat menjadi membran. Membran yang dihasilkan melalui teknik ini adalah membran homogen yang padat dan rapat.

b. Pengendapan dalam Fasa Uap

Film cair yang telah dicetak dari larutan cetak yang mengandung polimer dan pelarut diletakkan di dalam atmosfer uap non-pelarut yang dijenuhi pelarut. Konsentrasi pelarut yang tinggi dalam fasa uap akan menghalangi

penguapan pelarut dari film larutan cetak dan konsentrasi larutan polimer pada permukaan polimer bertambah kecil. Membran terbentuk karena difusi non-pelarut ke dalam larutan cetak. Jika konsentrasi pelarut sangat tinggi dalam fasa uap maka membran yang terbentuk adalah membran berpori dengan permukaan terbuka (tanpa kulit membran).

- c. **Pengendapan dengan Penguapan Terkontrol**
Teknik ini menggunakan campuran pelarut dan non-pelarut sebagai pelarut untuk polimernya. Karena pelarut lebih mudah dari pada non-pelarut maka kecepatan penguapan dapat dikontrol dengan mengatur komposisi campuran pelarut dan non-pelarut. Setelah pelarut menguap semua maka akan menghasilkan fasa polimer padat (membran).
- d. **Pengendapan melalui Pencelupan**
Teknik pengendapan melalui pencelupan (celup-endap) merupakan teknik yang sering digunakan untuk membuat membran berstruktur asimetrik. Pada teknik ini, larutan cetak (*dope*) dicetak di atas plat kaca, setelah itu dicelupkan ke dalam bak koagulan. Pengendapan terjadi karena difusi koagulan (air) ke dalam larutan cetak dan difusi pelarut dari larutan cetak [Mulder, 1996].

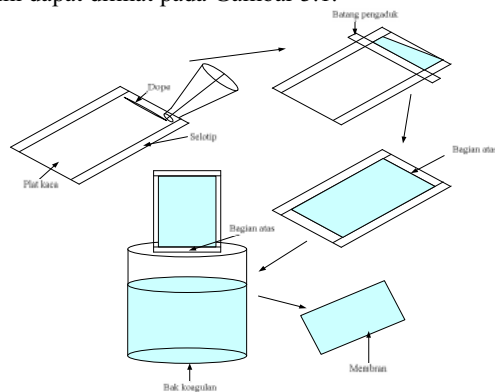
3. Metodologi

Bahan-bahan yang digunakan adalah *Polymethylmethacrylate* (PMMA), *Tetraethyl Orthotitanate* (TEOT), Benzena, HCl, NaOH, dan air bebas mineral. Peralatan yang digunakan adalah alat-alat gelas, seperti gelas kimia, erlenmeyer, gelas ukur, batang pengaduk, corong, plat kaca, neraca analitik, *magnetic stirrer*, *stirrer bar*, pipet tetes, nampan, spektrofotometer FTIR, *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan analisis termal gravimetri (TGA). Variabel yang diteliti adalah konsentrasi polimer dan pH larutan koagulan sebagai variabel berubah. Variasi konsentrasi polimer adalah 15%, 20% dan 25% (berat/berat). Yang menjadi variabel tetap pada penelitian ini adalah perbandingan PMMA/TEOT = 80/20, dan volume pelarut (benzen).

Sintesis Membran Hibrid Organik-Anorganik: Pengaruh Konsentrasi Polimer

Membran hibrid PMMA/TEOT dibuat dengan melarutkan PMMA di dalam pelarut benzena pada konsentrasi 15%, 20% dan 25% (berat/berat) dan diaduk pada kelajuan tertentu selama 12 jam. Setelah larut dengan sempurna, kemudian ke dalam masing-masing larutan ditambahkan TEOT dengan perbandingan PMMA/TEOT = 80/20 [Zulfikar *et al.*, 2006]. Campuran ini terus diaduk selama 2 jam, sampai semuanya larut sempurna. Larutan yang diperoleh dibiarkan selama 5 menit untuk menghilangkan

gelembung gas yang terbentuk. Kemudian, larutan ini di-*casting* dalam jumlah tertentu ke atas plat kaca pada ketebalan 1 mm dan dibiarkan selama 15 menit untuk proses gelasi dan dicelupkan ke dalam larutan koagulan (air). Proses pembuatan membran ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.

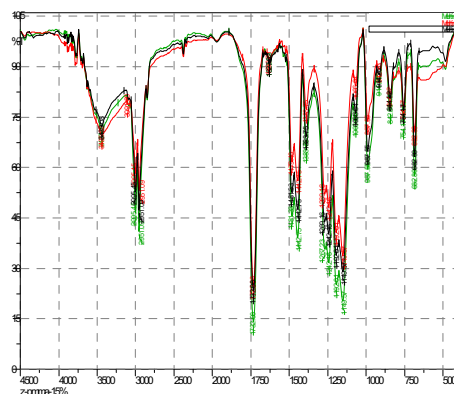


Gambar 3.1 Pembuatan Membran Secara Inversi Fasa

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis FTIR

Membran PMMA/TEOT yang telah disintesis melalui teknik inversi fasa kemudian dikarakterisasi menggunakan spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infra Red*). Gugus-gugus fungsional dari cuplikan yang mengabsorpsi radiasi akan tampak sebagai puncak-puncak dalam daerah panjang gelombang yaitu rentangan panjang gelombang antara 4000 cm^{-1} sampai dengan 450 cm^{-1} . Gambar 4.1 menunjukkan spektrum infra merah membran hibrid PMMA/TEOT untuk konsentrasi PMMA 15%, 20%, dan 25%.

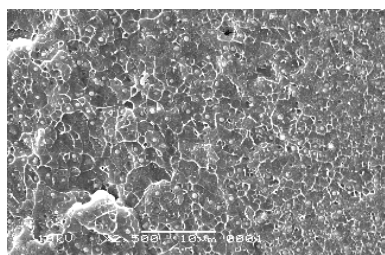


Gambar 4.1 Spektrum FTIR untuk Variasi Konsentrasi PMMA 15% (Hitam), 20% (Merah), dan 25% (Hijau)

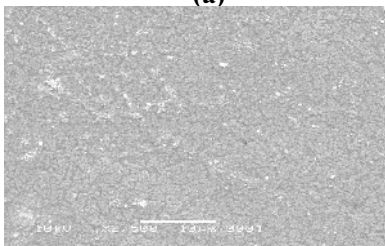
Gambar 4.1 menunjukkan spektrum transmisi infra merah yang dihasilkan membran hibrid PMMA/TEOT untuk konsentrasi PMMA 15%, 20%, dan 25%. Spektrum yang dihasilkan mempunyai pola yang hampir sama dan tidak dipengaruhi oleh variasi konsentrasi PMMA. Pada semua membran hibrid, dapat diamati bahwa terdapat puncak serapan pada daerah $17320,8 \text{ cm}^{-1}$ yang dihasilkan ikatan $\text{C}=\text{O}$ yang berasal dari PMMA. Pada daerah antara $450\text{-}800 \text{ cm}^{-1}$ terdapat puncak serapan lebar yang merupakan vibrasi Ti-O-Ti yang berasal dari senyawa TEOT. Daerah spektral lain yaitu pada daerah 1190 cm^{-1} yang merupakan kontribusi dari ikatan O-CH_3 yang berasal dari PMMA. Jika dibandingkan antara ketiga spektrum tersebut dapat dilihat spektrum PMMA 15% dan spektrum PMMA 20% hampir sama tetapi untuk spektrum 25% mengalami pergeseran dari 2 spektrum sebelumnya. Pergeseran puncak ini disebabkan oleh terbentuknya ikatan baru yang lebih kuat dari ikatan sebelumnya.

Analisis SEM

Penentuan morfologi merupakan karakteristik yang penting bagi membran untuk mengetahui struktur pori. Suatu metode sederhana dan cepat untuk menentukan morfologi membran adalah dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Struktur permukaan dan penampang lintang membran dapat dilihat secara mikroskopik pada foto yang dihasilkan oleh SEM. Dari teknik analisis SEM dapat diperkirakan ukuran pori dan distribusi membran hibrid yang telah disintesis. Gambar 6, 7, dan 8 menunjukkan morfologi membran PMMA/TEOT yang dihasilkan dari alat SEM untuk variasi konsentrasi PMMA.



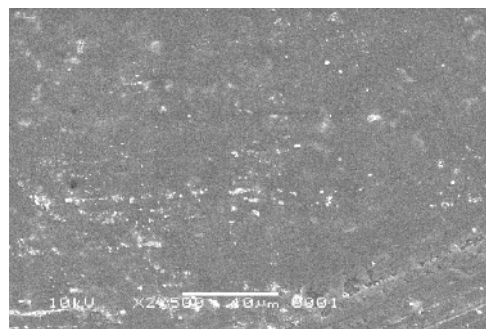
(a)



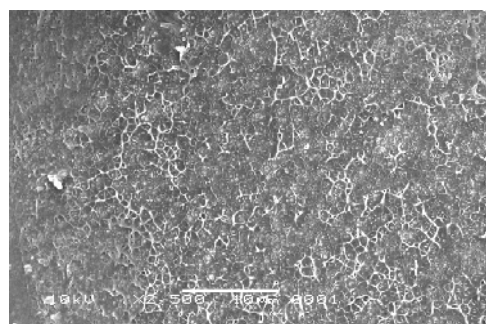
(b)

Gambar 4.2

SEM untuk PMMA dengan Konsentrasi 15%
(a) Permukaan (perbesaran 2500x), (b) Penampang lintang (perbesaran 2500x)



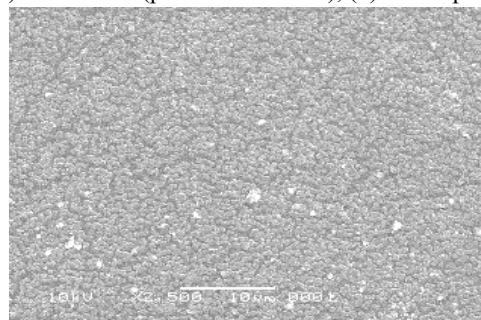
(a)



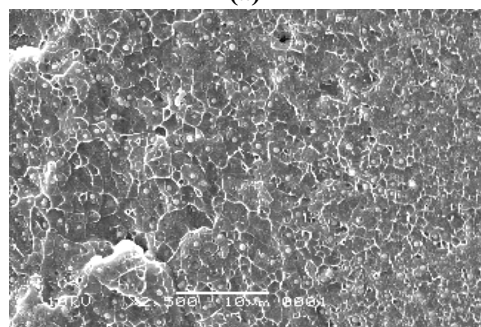
(b)

Gambar 4.3 SEM untuk PMMA dengan Konsentrasi 20%

(a) Permukaan (perbesaran 2500x), (b) Penampang



(a)



(b)

Gambar 4.4 SEM untuk PMMA dengan Konsentrasi 25%

(a) Permukaan (perbesaran 2500x), (b) Penampang lintang (perbesaran 2500x)

Berdasarkan Gambar 4.2, 4.3, dan 4.4 terlihat bahwa semakin besar konsentrasi membran, permukaan dan penampang polimer akan semakin kompak dan rapat [Mulder, 1996]. Peningkatan konsentrasi polimer akan mengurangi konsentrasi pelarut yang digunakan, sehingga pada saat koagulasi parsial pelarut, membran dengan konsentrasi polimer yang besar akan memiliki lapisan atas yang lebih kaya polimer, dan menghasilkan membran dengan lapisan aktif yang lebih rapat (*dense*).

Variasi konsentrasi polimer memberikan morfologi membran yang berbeda, seperti yang terlihat pada Gambar 4.2, 4.3, dan 4.4. Semakin meningkatnya konsentrasi polimer maka secara kualitatif diameter pori membran semakin meningkat. Hal ini dapat dilihat pada membran dengan konsentrasi PMMA 25% memiliki pori lebih besar dari pada membran dengan konsentrasi PMMA 20%, dan diameter pori membran dengan konsentrasi PMMA 20% lebih besar dari pada membran dengan konsentrasi PMMA 15%. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.2, 4.3, dan 4.4 memiliki perbesaran gambar yang sama yaitu 2500x, tetapi pada Gambar 4.3 ukuran pori sudah dapat terlihat walaupun kurang jelas sementara ukuran pori yang jelas terdapat pada Gambar 4.4 sedangkan Gambar 4.2 ukuran pori tidak dapat terlihat.

Morfologi membran sangat berkaitan erat dengan interaksi antar fasa, karena dihasilkan dari kompetisi antara kinetika pembentukan ikatan silang (pembentukan kluster TiO_2 dan berikatan dengan PMMA). Selama pembentukan hibrid PMMA/TEOT, TEOT terdispersi secara homogen ke dalam larutan PMMA. Penguapan sebagian pelarut di atas plat kaca menyebabkan pelarut pada lapisan atas akan mengalami difusi ke atmosfer. Ini menyebabkan lapisan atas akan kekurangan pelarut sedangkan lapisan bawahnya kaya pelarut. Pada saat pencelupan ke dalam non pelarut, pelarut akan mengalami difusi ke air dan meninggalkan ruang-ruang yang akan membentuk pori membran. Pertumbuhan jaringan TiO_2 pada segmen PMMA bisa menyebabkan terjadinya pemisahan fasa secara makroskopik. Adanya ikatan yang kuat antara PMMA dan TiO_2 adalah penting untuk mencegah terjadinya pemisahan fasa tersebut.

Analisis TGA

Termogravimetri adalah suatu teknik pengukuran berat sampel sebagai fungsi dari waktu dan temperatur. Pada karakterisasi ini digunakan metoda dimana sampel dipanaskan dalam lingkungan temperatur yang berubah secara linier sampai massa sampel berkurang. Membran dengan konsentrasi 15% memiliki temperatur dekomposisi $161,4^\circ\text{C}$ dengan persentase kehilangan berat pada $\pm 550^\circ\text{C}$ sebesar 95,1. Sementara itu, membran dengan konsentrasi PMMA 20% memiliki

temperatur dekomposisi yang lebih besar yaitu sebesar $172,4^\circ\text{C}$ dengan berat yang hilang pada $\pm 550^\circ\text{C}$ sebesar 92,5%. Sedangkan membran dengan konsentrasi PMMA 25% memiliki temperatur dekomposisi yaitu $176,3^\circ\text{C}$ dengan 92,0% kehilangan berat. Semakin besar konsentrasi PMMA maka semakin tinggi temperatur dekomposisi membran, berarti kestabilan suhu membran juga semakin tinggi. Hal ini karena pengaruh terjadinya ikatan silang (*cross linking*) yaitu ikatan antara PMMA dan TEOT. Dengan adanya ikatan silang ini ikatan antar rantai menjadi kuat.

5. Kesimpulan

- Membran hibrid PMMA/TEOT telah berhasil disintesis melalui teknik inversi fasa.
- Data spektrum FTIR menunjukkan adanya puncak serapan yang sama untuk semua sampel uji. Ikatan silang yang semakin kuat terjadi dengan meningkatnya konsentrasi PMMA. Analisis SEM menunjukkan bahwa membran yang dihasilkan berupa membran asimetris. Selain itu analisis TGA menunjukkan kestabilan termal membran yang baik pada membran dengan konsentrasi PMMA 25%.

6. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DP2M DIKTI yang mendanai penelitian ini dan kepada saudara Rini Angela yang telah membantu penelitian ini dan merupakan bagian dari tugas akhirnya serta kepada bapak Muhammad Zulfikar atas saran-saran yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Baker, R.** 2001. *Membrane Technology in Chemical Industry: Future Direction*. Willow Park, CA 94025. USA
- Billmeyer, Fred W.** 1962. *Textbook of Polymer Science*. Jhon Wiley & Sons, New York.
- Chowdhury, S.R.,** ten Elshof, J.E., Benes, N.E & Keizer, K. 2002. *Development and comparative study of different nanofiltration membranes for recovery of highly charged large ions*. *Desalination*. **144**: 41-46.
- Cornelius, C.J & Marand, E.** 2002. *Hybrid inorganic-organic materials bases on 6FDA-6FpDA-DABA polyimide dan silica: Physical characterization studies*. *Polymer*. **43**: 2385-2400.
- Cornelius, C.J., Hibshman, C & Marand, E.** 2001. *Hybrid organic-inorganic membranes. Separation and Purification Technology*. **25**: 181-193.
- Ismail, A.F. et al.** 2002. *Latest development on the membrane formation for gas separation*. *Membrane science & Technology*, **24**: 1025-1043

- Mulder, M.** 1996. *Basic principles of Membrane Technology*, 2nd ed., kluwer Academic Publisher, Dordrecht.
- Nunes, S.P., Peinemann, K.V., Ohlrogge, K., Alpers, A., Keller, M & Pires, A.T.N.** 1999. *Membranes of poly(ether imide) and nanodispersed silica. Journal of Membrane Science.* **157**: 219-226.
- Nunes, S.P., Peinemann, K.V.** 2001. *Membrane Technology in the Chemical Industry*. Wiley VCH-Verlag GmbH, Germany.
- Smaih, M., Schrotter, J.C., Lesimple, C., Prevost, I & Guizard, C.** 1999. *Gas separation properties of hybrid imide-siloxane copolymers with various silica contents. Journal of Membrane Science.* **161**: 157-170.
- Zulfikar, M.A, Mohammad, A.W, Khadum, A.A & Hilal, N.** 2006a. *Synthesis and characterization of poly(methyl methacrylate)/SiO₂ hybrid membranes: Effect of solvents on structural and thermal properties. Journal of Applied Polymer Science.* **99**: 3163-3171.
- Zulfikar, M.A, Mohammad, A.W, Khadum, A.A & Hilal, N.** 2006b. *Synthesis and characterization of novel porous PMMA/SiO₂ hybrid organic-inorganic membrane. Desalination.* **192**: 262-270.
- Zulfikar, M.A, Mohammad, A.W, Khadum, A.A & Hilal, N.** 2006c. *Effect of siloxan composition on structural and thermal properties of PMMA/SiO₂ organic-inorganic hybrid membrane. To be submitted to Materials Science and Engineering A.*